



## 한국의 국가관리 간척지 토양의 화학성 변동: 4년 모니터링 결과

류진희<sup>1\*</sup>, 이수환<sup>1</sup>, 오양열<sup>1</sup>, 이정태<sup>2</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 작물기초기반과, <sup>2</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 고령지농업연구소

### Soil Chemical Properties of Reclaimed Tide Lands Under Government Management in Korea: Results of 4-years monitoring

Jin-Hee Ryu<sup>1\*</sup>, Su-Hwan Lee<sup>1</sup>, Yang-Yeol Oh<sup>1</sup> and Jeong-Tae Lee<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Division of Crop Foundation, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea, <sup>2</sup>Highland Agriculture Research Institute, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Pyeongchang 25342, Korea)

Received: 9 October 2019/ Revised: 28 October 2019/ Accepted: 5 November 2019

Copyright © 2019 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

#### ORCID

Jin-Hee Ryu  
<https://orcid.org/0000-0002-0836-9510>

Su-Hwan Lee  
<https://orcid.org/0000-0002-5354-3020>

Yang-Yeol Oh  
<https://orcid.org/0000-0002-7471-0406>

#### Abstract

**BACKGROUND:** The reclaimed lands for agricultural use managed by the Korean government is consisted of 17,145 hectares of lands under construction and 13,384 hectares of completed lands. In order to utilize these reclaimed lands as competitive agricultural complexes, the government is preparing to develop comprehensive development plans for multiple purposes. For rational land-use planning and soil management, information of the soil chemical properties is necessary.

**METHODS AND RESULTS:** From 2013 to 2016, soil samples were collected from 85 representative sampling sites of the reclaimed lands and analyzed for soil chemical properties including electric conductivity (EC), pH, soil organic matter (SOM), and nutrients. The annual mean soil EC ranged from 5.1 to 8.3 dS m<sup>-1</sup> and have continued to decrease over the years (estimation equation with EC as dependent and year as independent variable was  $y = 0.0736x^2 - 1.4985x + 9.8305$ ,  $R^2 = 0.9753$ ). The pH ranged

from 7.3 to 7.6, which was higher than the optimum range (5.5~7.0) for agricultural soils. Soil organic matter (8 to 11 g kg<sup>-1</sup>) was lower level than the optimum range (20~30 g kg<sup>-1</sup>). Available silicate (Av.SiO<sub>2</sub>) ranged from 169 to 229 mg kg<sup>-1</sup>, which was close to the minimum content ( $\geq 157$  mg kg<sup>-1</sup>) for rice paddy field. Available phosphate (Av.P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) content (24~39 mg kg<sup>-1</sup>) was lower than the optimum range (80~120 mg kg<sup>-1</sup>) for rice paddy field.

**CONCLUSION:** For efficient agricultural use of reclaimed lands under government management, our results suggest that the application of organic matter and supplying deficient nutrients as well as desalinization is required.

**Key words:** Chemical property, Reclaimed land, Salinity

#### 서론

우리나라의 서남해안에 분포된 간척지 토양은 대부분 수력에 의하여 운반된 모래가 해안평탄지에 축적되었거나 조수의 작용으로 해안이 침식되어 풍화된 모래가 해안을 따라 퇴적되어 이루어진 하해혼성충적물이며 대하천의 하구는 모래함량이 많고 하구에서 멀어질수록 미세한 토양입자가 많이 분포한다. 간척지 토양은 다양한 토성을 나타내지만 중심토성은 미사질 계통이고 퇴적의 연대, 표고 및 유로와의 거리 등에 따라 다양

\*Corresponding author: Jin-Hee Ryu  
Phone: +82-63-238-5315; Fax: +82-63-238-5305;  
E-mail: jin001kr@korea.kr

한 토양의 토양이 존재한다(Sonn et al., 2006). 간척지 개발 초기의 토양은 일반적으로 가용성염류와 치환성나트륨이 과다하게 함유되어 있어 염농도가 매우 높으며 가용성 염류는 토양의 삼투압을 증가시키는 주된 원인이 되고 치환성나트륨은 알칼리성을 증가시키는 주된 원인이 되어 작물생육에 큰 저해 요인이 된다(Koo et al., 1998). 그러나 경작년수의 경과에 따라 나트륨, 칼리, 칼슘, 망간 등 염류의 함량이 감소되고 토양의 산도가 저하되며 질소와 유기물 함량이 증가된다(Kim, 1987; Mun et al., 1996). 토양구조가 발달되지 않은 신간척지는 수직배수가 불량하며 식질계 토양에서는 연약한 지반을 형성하여 담수상태에서 중형 농기계의 사용이 어려운 토양이 있는 반면, 사질계토양은 토층의 경화로 수년간 이양작업이 곤란한 토양도 있다(Yoo et al., 2007). Sonn 등(2006)은 간척 후 염해답의 제염은 미세지형 등 입지조건과 재배조건에 따라 차이가 있으며 이용 측면에서 염농도의 피해 기준을  $4 \text{ dS m}^{-1}$ 로 판단할 때 식양질 토양은 제염이 되는데 약 108년 정도가 소요되고 사양질 토양에서는 12년 정도가 소요될 것으로 추정하였다. 우리나라의 간척사업은 1965년부터 2020년까지 135

천 ha의 간척지를 조성할 계획으로 추진 중에 있으며 현재까지 약 95천 ha의 간척농지가 완공되었고, 약 40천 ha의 간척지 조성사업이 시행중이다(Table 1). 새로 조성된 간척지의 합리적인 농경지 활용을 위해서는 작물 생육의 측면에서 염농도 외에도 유기물, 양분, 양이온 조성 등 토양 이화학성에 대한 다각적인 고려가 중요하지만, 지금까지 대부분의 연구는 토양 염농도를 중심으로 연구되어 왔기 때문에 간척지 토양 이화학성에 대한 종합적인 이해가 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 국가에서 관리하고 있는 11개 간척지를 대상으로 합리적인 토양 및 양분관리 방안 제시와 장기적인 간척지 이용 방안 수립을 위한 기초자료를 제공하고자 85개의 대표지점을 정하고 토양의 이화학성을 조사하였다.

## 재료 및 방법

국가에서 관리하고 있는 농업용도의 간척지는 간척지 준공 후 매각되지 않은 13,384 ha와 시공 중인 17,145 ha를 합하여 총 30,529 ha이다(Table 2).

**Table 1. Reclamation plan and Status of reclaimed tide lands in Korea**

(unit:  $10^3 \text{ ha}$ )

Planned area	Completed area			Under construction		
	Subtotal	Disposed	Undisposed	Subtotal	Agricultural	Non-agricultural
135	95	82	13	40	17	23

**Table 2. Status of reclaimed tide lands for agricultural use under government management**

Reclaimed land		Location		Area <sup>†</sup> (ha)
		Province	City (county)	
Total				30,529
Undisposed after completion	Subtotal			13,384
	Seokmun	Chungnam	Dangjin	1,896
	Iwon	Chungnam	Taeon	837
	Nampo	Chungnam	Boryeong	825
	Samsan	Jeonnam	Jangheung	283
	Koheung	Jeonnam	Koheung	1,903
	Gunnae	Jeonnam	Jindo	464
	Bojeon	Jeonnam	Jindo	213
	Sihwa	kyeongki	Hwaseong	745
	Youngsangang III-1	Jeonnam	Yeongam/Haenam	3,357
Youngsangang III-2	Jeonnam	Haenam	2,861	
Under construction	Subtotal			17,145
	Hwaong	kyeongki	Hwaseong	4,482
	Sihwa	kyeongki	Hwaseong/Ansan	2,891
	Youngsangang III-2	Jeonnam	Haenam	1,202
	Saemngeum	Jeonbuk	Gunsan/Kimje/Buan	8,570

<sup>†</sup> Notice of Agriculture, Food and Rural Affairs 2019-45 (2019.8.29)



### 토양 채취

국가관리 간척지 11개 지구에 간척지구별로 토양특성, 배수 및 입지여건 등을 고려하여 총 85개소의 대표지점을 선정하고 이들 조사지점을 대상으로 2013~2016년까지 토양시료를 채취하여 토양 이화학성을 조사하였다. 간척지구별 조사지점은 Fig. 1과 같다.

### 토양 분석

토양시료는 매년 3~4월 표토(0~20 cm)와 심토(20~40 cm)를 채취하여 음건한 후 2 mm 체를 통과한 것을 이화학성 분석에 사용하

였다. 토양 이화학성 분석은 농촌진흥청의 토양화학분석법(National Institute of Agricultural Sciences, 2010)에 준하여 분석하였다. 토양화학성 분석은 pH와 EC(electric conductivity)는 증류수 1:5 침출법, 유효인산(Av.  $P_2O_5$ )은 Lancaster법으로 분석하였고 유효규산은 1N NaOAc (pH 4.0) 침출법, 치환성양이온(Ex. Ca, K, Mg, Na)은 1N- $NH_4OAc$  (pH 7.0)로 침출하여 ICP (Varian Vista-MPX, Varian Inc., USA)로 분석하였으며 토양유기물(OM)은 원소분석기(Vario Max CNS, element analyser systeme GmbH, Germany)를 사용하여 분석하였다.

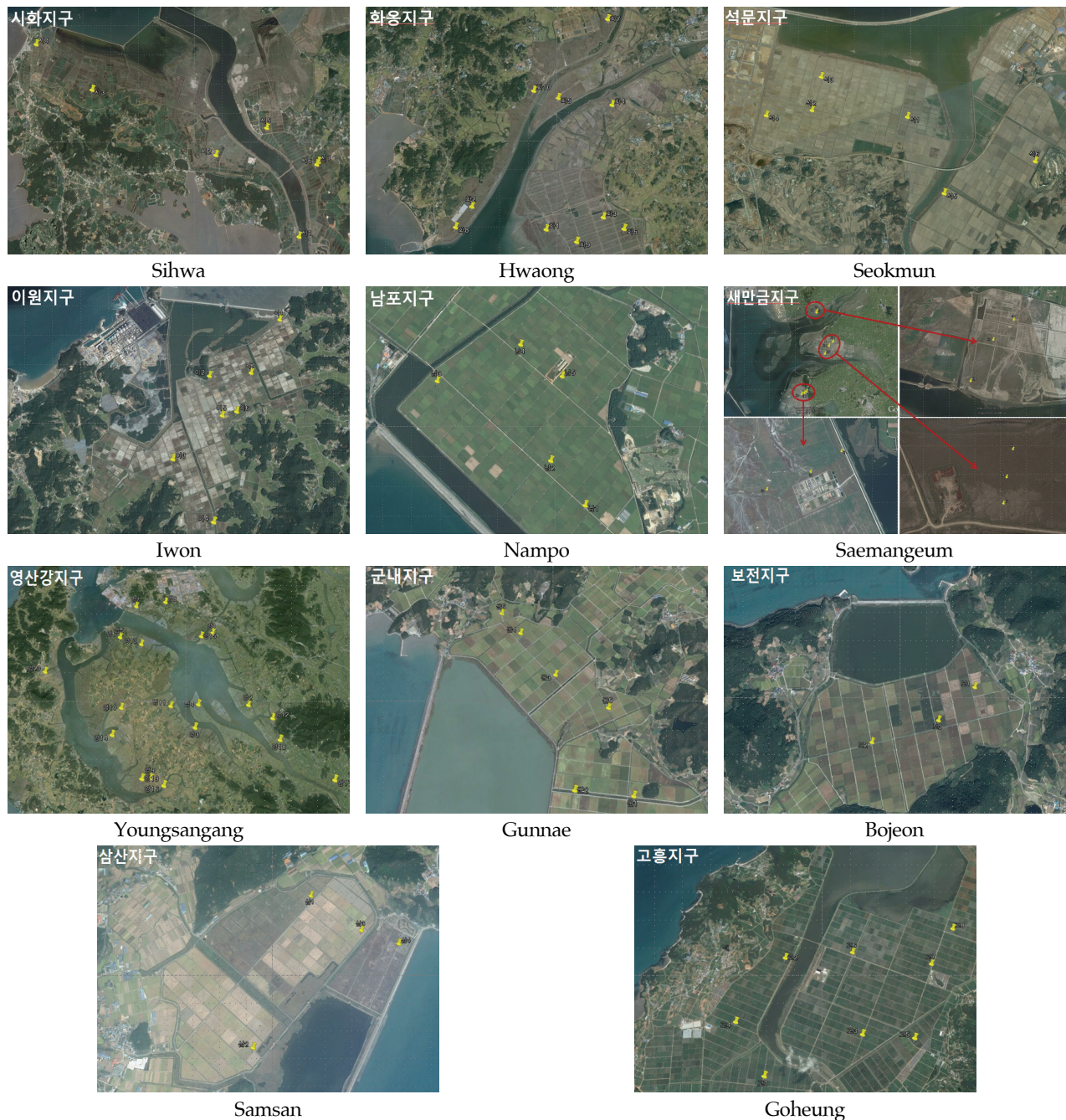


Fig. 1. Soil sampling sites of the 11 reclaimed tide lands managed by nation.

## 결과 및 고찰

### 토양 염농도

국가관리 간척지 11지구의 토양 염농도는 Fig. 2와 같은 경향을 보였다. 토양 염농도는 간척지구별로 다른 변동 양상을 보였는데, 2013년도의 토양의 EC가 4.9~25.6 dS m<sup>-1</sup>로 염농도가 높았던 시화, 화옹, 이원, 새만금, 삼산, 고흥 간척지는 2016년에 토양 염농도가 2.9~8.3 dS m<sup>-1</sup>를 나타내어 7.6~75.5% 감소하였다. 특히, 화옹, 삼산, 새만금 간척지는 2013년 토양 EC가 각각 25.6 dS m<sup>-1</sup>, 19.4 dS m<sup>-1</sup>, 6.9 dS m<sup>-1</sup>를 나타내어 염농도가 매우 높았으나 2016년도에 각각 6.3 dS m<sup>-1</sup> (75.6% 감소), 8.3 dS m<sup>-1</sup> (57.3% 감소), 2.9 dS m<sup>-1</sup> (57.8% 감소)을 나타내어 타 지구에 비해 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 반면, 2013년에 토양의 EC가 0.9~4.1 dS m<sup>-1</sup>로 염농도가 비교적 낮았던 석문, 남포, 영산강, 군내, 보전 간척지는 2016년에 토양 EC가 1.4~5.8 dS m<sup>-1</sup>를 나타내어 EC의 감소 정도가 낮거나 약간 증가한 수치를 나타내었다. 이와 같은 결과는 토양 염농도가 높은 시점에서는 제염 속도가 빠르나 제염이 어느 정도 이루어진 후에는 제염이 더디게 진행되기 때문으로 판단되는데, 이는 Seo 등(2009)이 실내 모형실험을 통해 얻은 결과와 일치하였다. 간척지구별 제염 정도에 차이를 보이는 것은 간척지구별로 조성년대, 토성, 배수기반 조건 등의 차이에 기인한 것으로 보인다(Yang et al., 2008). 조사기간(2013년~2016년) 동안 국가관리 간척지들의 평균 토양 EC는 연차경과에 따라 지속적으로 감소 추세에 있었다. 2013년 이후 연수 경과(x)에 따른 토양 EC (y)

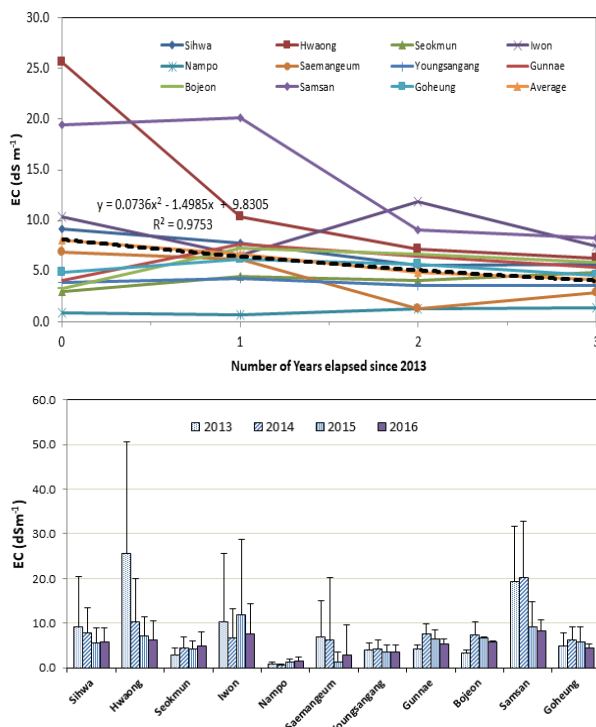


Fig. 2. Changes of soil EC in the reclaimed tide lands managed by nation.

는  $y = 0.0726x^2 - 1.4985x + 9.8305$  ( $R^2 = 0.9753$ )으로 변동하였다(Fig. 2). 이와 같은 경향은 Yang 등(2008)이 서남해안 10개 간척지구의 토양이화학적성을 조사한 결과, 토양 염농도는 간척년대가 경과할수록 낮아진다고 한 결과와 같은 경향이였다. 또한 Koo 등(1998)은 대호, 영산강, 시화, 화옹, 석문, 이원, 새만금, 고흥 등 서해안 간척지 토양의 이화학적성을 조사한 결과, 토양 EC는 20~40 dS m<sup>-1</sup>인 토양이 63%, 30~40 dS m<sup>-1</sup>인 토양이 약 23%의 분포를 보이고 있어 개발 초기 간척지토양의 염분농도를 대략 20~40 dS m<sup>-1</sup> 범위로 볼 수 있다고 보고한 바 있는데 조사지점 등의 차이로 인해 본 논문의 분석 결과와 직접적인 비교는 어렵다 하더라도 국가관리 간척지 토양은 당시와 비교하여 상당히 체염되었고 또한 지속적으로 진행되고 있음을 알 수 있었다.

### 토양 pH

국가관리 간척지 11지구의 토양 pH는 Fig. 3과 같았다. 간척지 11지구의 연도별 평균 pH는 7.3~7.6의 범위를 나타내어 적정범위(논 5.5~6.5, 밭 6.0~7.0) 보다 높았으며 조사기간 중에 연차 경과에 따라 일정한 경향을 나타내지는 않았다. 간척지구별 토양 pH는 남포간척지가 pH 6.1로 적정범위 안에 있어 적정하였고 석문, 영산강, 군내 간척지는 pH 7.1~7.3의 범위를 나타내어 적정범위에 근접하였다. 반면, 시화, 화옹, 이원, 새만금, 보전, 삼산, 고흥간척지는 pH 7.5~8.4의 범위를 나타내어 적정범위보다 높았다. pH는 토양 중 양분의 유효도에 미치는 영향이 크다. 간척지 토양은 일반적으로 높은 염분 농도로 인해 pH가 높은 데, 높은 pH에서는 인과 철, 망간, 아연, 구리, 코발트 등 미량원소의 유효도가 감소한다(Brady, N. C. and R. R. Weil., 2002). 따라서 토양 pH를 적정한 범위로 유지할 수 있도록 토양관리를 해야 하며 동시에 토양 pH의 증감에 따라 변화될 수 있는 필수원소의 지속적인 모니터링을 통한 합리적 관리가 필요하다(Son et al., 2009).

### 토양 유기물

간척지구별 간척지 조성 후 연차 경과에 따른 토양의 유기물 함량 변동은 Fig. 4와 같았다. 간척지구별 연차 간 평균

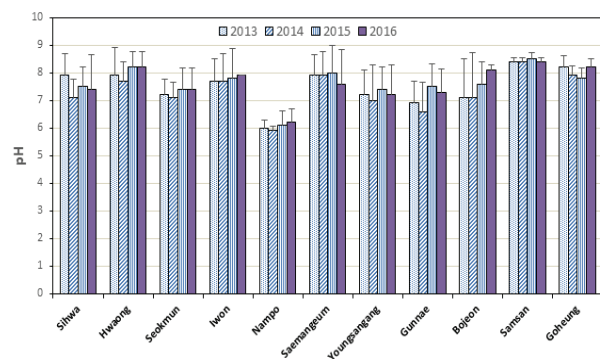


Fig. 3. Changes of soil pH in the reclaimed tide lands managed by nation.



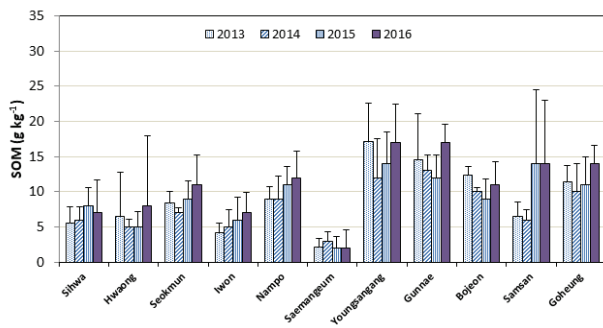


Fig. 4. Changes of soil organic matter content in the reclaimed tide lands managed by nation.

유기물 함량은  $2\sim 15\text{ g kg}^{-1}$ 의 범위를 나타내었고 새만금간척지가  $2\text{ g kg}^{-1}$ 로 가장 낮았고 시화, 화웅, 석문, 이원 간척지가  $6\sim 9\text{ g kg}^{-1}$ 의 범위를 나타내었으며 남포, 영산강, 군내, 보전, 삼산, 고흥간척지가  $10\sim 15\text{ g kg}^{-1}$ 의 범위를 나타내었다. 간척지구별 유기물함량은 간척지 조성 후 경과 연차가 오래될수록 더 높은 경향을 보였는데 연차 경과(x)에 따른 토양 유기물 함량(y)은 추세식  $y = 4.3183e^{0.08x}$ 로 나타낼 수 있었다(Fig. 5). 이와 같은 결과는 Mun 등(1996)이 간척후 10년이 경과한 서산간척지에서 농경에 따른 토양 이화학성 변화를 조사한 결과, 토양 유기물 함량이 농경을 통해 2배 이상 증가하였다고 보고한 결과와 같은 경향이였다. 이와 같은 유기물 증가 경향은 간척 초기에 토양 중 유기물이 매우 낮은 상태에서 작물을 재배함에 따라 작물의 뿌리 생육과 더불어 작물 부산물이 투입되고 그간 유기물 시용의 중요성에 대한 인식이 확산됨에 따라 퇴비, 녹비 활용의 증가에 따른 것으로 생각된다. 연차 경과에 따라 국가관리 간척지 11지구간의 연차별 평균 토양 유기물(OM) 함량은  $8\sim 11\text{ g kg}^{-1}$ 의 범위를 나타내었고 대체로 연차 경과에 따라 증가하는 경향을 보였다. 그러나 유기물 함량은 토양 적정기준 ( $20\sim 30\text{ g kg}^{-1}$ ) 보다 크게 부족한 상황으로 간척지의 효율적인 농지활용을 위해서는 볏짚, 퇴비, 녹비 등 다량의 유기물 시용이 필요할 것으로 생각된다. 토양 중 유기물의 분해과정에서 유출되는 무기태 질소는 상당량이 미생물에 의해 이용되며 C/N율이 25 이상인 유기물의 투입은 유기물 분해에 필요한 질소의 부족으로 미생물이 질소의 일부를 토양으로부터 이용하기 때문에 식물과의 질소 경쟁이 발생한다(Mueller et al., 1998; Wagner and Wolf, 1999). 간척지에 유기물을 공급할 때는 C/N율을 고려하여 질소기아 또는 과도한 유기물 분해를 예방할 수 있는 방안이 필요하며 간척농경지 토양 중에서 완전한 분해속도를 가진 유기물 자원의 공급이 필요하다(Son et al., 2009).

#### 유효인산

국가관리 간척지의 간척지구별 유효인산 함량 분석결과는 Fig. 6과 같았다. 간척지구별 2013~2016년까지 4년간 평균 유효인산 함량은  $13\sim 47\text{ mg kg}^{-1}$ 의 범위에 있었고 군내간척지가  $13\text{ mg kg}^{-1}$ 으로 가장 낮았고 화웅, 삼산간척지가  $47\text{ mg kg}^{-1}$ 로 가장 높았다. 간척지구간 평균 유효인산은 연차별로

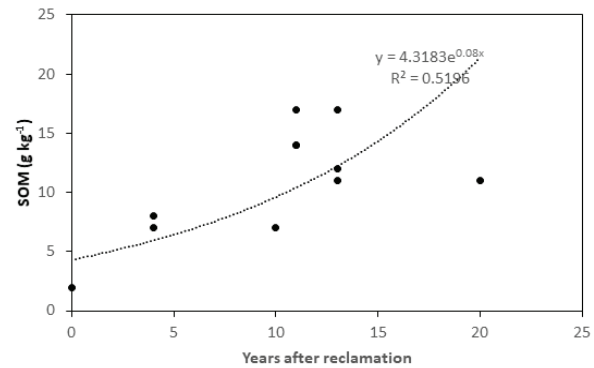


Fig. 5. Correlation between soil SOM and years after reclamation in 2016.

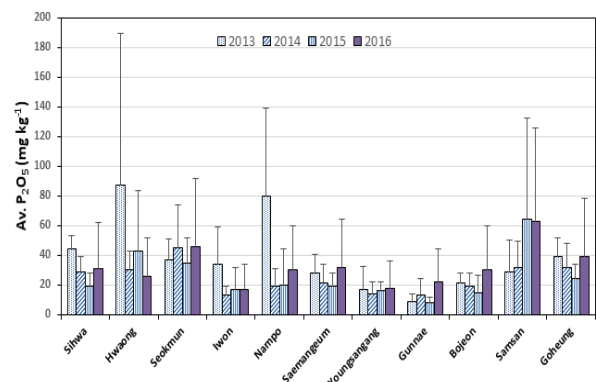


Fig. 6. Changes of available  $\text{P}_2\text{O}_5$  in the reclaimed tide lands managed by nation.

$24\sim 39\text{ mg kg}^{-1}$ 의 범위를 나타내었고 연차 간 증가 또는 감소의 경향은 보이지 않았으며 유효인산의 농도양 적정기준 ( $80\sim 120\text{ mg kg}^{-1}$ )과 밭토양 적정기준( $150\sim 350\text{ mg kg}^{-1}$ )보다 크게 부족하였다. Cho 등(2006)은 우리나라 간척지 및 간척지 토양 중 총인의 함량은 일반농지에서의 총인 함량과 유사한 수준으로 평가하였고 Son 등(2009)은 새만금간척지의 광활, 계화, 만경, 옥구지구를 대상으로 조사한 결과, 총인의 농도만을 기준으로 할 때 작물 생육에 큰 문제가 없을 것으로 판단하였다. 그러나 작물에 대한 토양의 인산공급에 가장 크게 영향을 미치는 양적인자인 토양 중 유효인산을 기준으로 평가하면 국가관리 간척지 토양은 인산이 크게 부족한 실정으로 인산질 비료의 진단 시용이 필요한 것으로 나타났다.

#### 유효규산

국가관리 간척지의 간척지구별 유효규산 함량 분석결과는 Fig. 7과 같았다. 간척지구별 2013~2016년까지 4년간 평균 유효규산 함량은  $121\sim 267\text{ mg kg}^{-1}$ 의 범위에 있었으며 석문, 새만금, 보전간척지는 농토양 적정기준( $157\text{ mg kg}^{-1}$  이상)보다 부족하였고 시화, 화웅, 이원, 남포, 영산강, 군내, 삼산, 고흥간척지는 기준치를 상회하였다. 간척지구간 평균 유효규산 함량은 연차별로  $169\sim 229\text{ mg kg}^{-1}$ 의 범위를 나타내었고 연차 경과에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 유효규

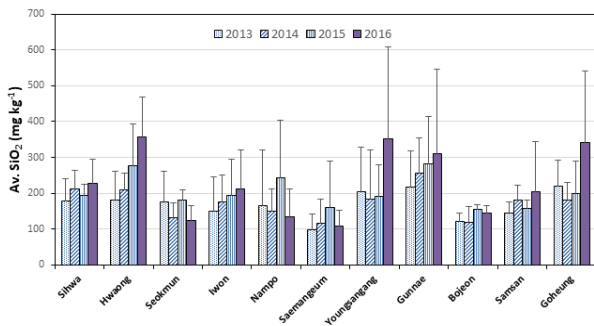


Fig. 7. Changes of available  $\text{SiO}_2$  in the reclaimed tide lands managed by nation.

산 함량의 증가 경향은 그간 국가의 토양개량제 공급 사업에 따라 주기적으로 규산질 비료를 시용해왔기 때문으로 판단된다. Yang 등(2008)은 서남해안의 10개 간척지를 조사한 결과, 유효규산 함량은 간척지구 및 토양에 따라 큰 차이를 나타내고 있어 토양검정에 의한 시비관리가 중요하다고 하였다. 국가관리 간척지의 규산질 비료의 시용은 필지별 토양분석 결과에 기반하여 필요한 농지에만 공급하는 것이 중요하다고 생각된다.

#### 치환성양이온

국가관리 간척지의 간척지구별 치환성 K 분석결과는 Fig. 8과 같았다. 간척지구별 연간 평균 치환성 K는 남포간척지가  $0.53 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 으로 가장 낮았고 보전, 석문간척지가 각각  $0.66, 0.70 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 이었으며 시화, 이원, 새만금, 영산강, 군내, 삼산, 고흥간척지가  $0.91\sim 1.30 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 의 범위를 나타내었다(Fig. 8). 간척지구간 평균 치환성 K 함량은 연차별로  $0.88\sim 1.10 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 의 범위에 있었다. 국가관리 간척지의 치환성 K는 적정범위(는  $0.2\sim 0.3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , 밭  $0.5\sim 0.8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) 기준으로 볼 때 높은 수치를 나타내고 있었다.

간척지구별 치환성 Ca 분석결과는 Fig. 9와 같았다. 간척지들 간 평균 치환성 Ca 함량은 연차별로  $5.0\sim 5.7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 의 범위를 나타내어 전체적으로는 치환성 Ca의 적정기준( $5.0\sim 6.0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )을 충족하였다. 그러나 간척지구별로 보면 차이가 커서 간척지구별 연간 평균 치환성 Ca은 시화, 화옹, 석문, 이원, 남포, 새만금 간척지는  $1.1\sim 4.3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 의 범위를 나타내어 적정범위 보다 부족하였고 영산강, 보전 간척지는 각각  $5.3, 5.7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 를 나타내어 적정하였으며 군내, 삼산, 고흥간척지는  $7.9\sim 11.1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 를 나타내어 적정범위를 상회하였다. 치환성 Ca 함량이 부족한 시화, 화옹, 석문, 이원, 남포, 새만금간척지는 석고( $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )의 시용을 통한 Ca의 공급이 필요할 것으로 생각된다. 간척지에 석고의 시용은 간척지 토양 중 과량으로 존재하는 Na, K, Mg 함량을 현저히 감소시키고 Ca 함량을 증가시키며 토양의 입단 증진, 투수성 개선 등 토양 이화확성을 개량할 수 있을 것으로 기대된다(Sohn et al., 2007; Baek et al., 2008; Choi et al., 2010; Lim et al., 2011; Kim et al., 2005).

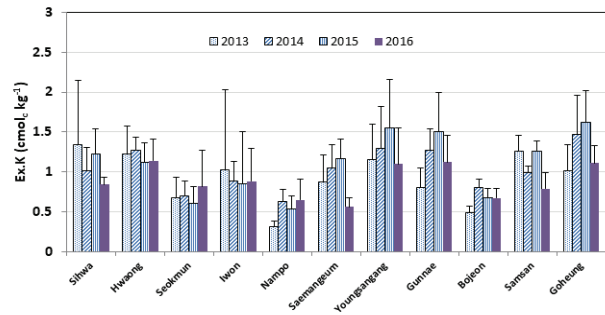


Fig. 8. Changes of Exchangeable K in the reclaimed tide lands managed by nation.

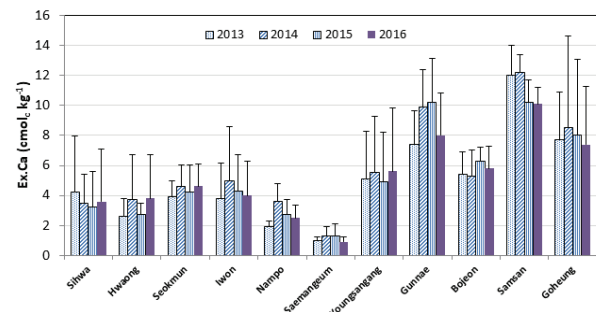


Fig. 9. Changes of Exchangeable Ca in the reclaimed tide lands managed by nation.

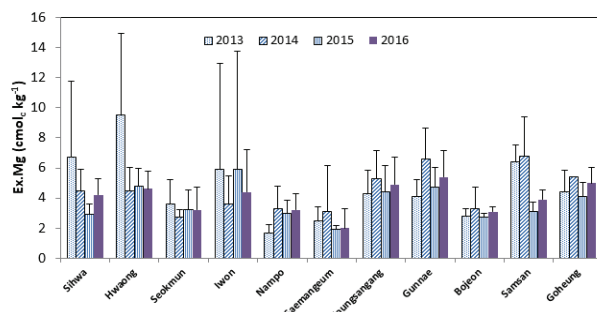


Fig. 10. Changes of Exchangeable Mg in the reclaimed tide lands managed by nation.

간척지구별 치환성 Mg 분석결과는 Fig. 10과 같았다. 치환성 Mg은 간척지구간 연차별 평균치가  $3.7\sim 4.7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 의 범위를 나타내어 농경지의 적정범위( $1.5\sim 2.0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )을 초과하였다. 간척지구별로는 새만금, 남포 간척지가 각각  $2.4, 2.8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 을 나타내어 적정범위에 가까웠고 이외의 간척지구는 모두  $3.0\sim 5.9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 의 범위를 나타내었다.

간척지구별 치환성 Na 분석결과는 Fig. 11과 같았다. 간척지구별 연간 평균 치환성 Na 함량은  $2.4\sim 5.9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 의 범위를 나타내었고 새만금 간척지가  $2.4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 가장 낮은 수치를 나타낸 반면 화옹 간척지가  $5.9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 가장 높은 수치를 나타내었다. 간척지구별 치환성 Na은 화옹,

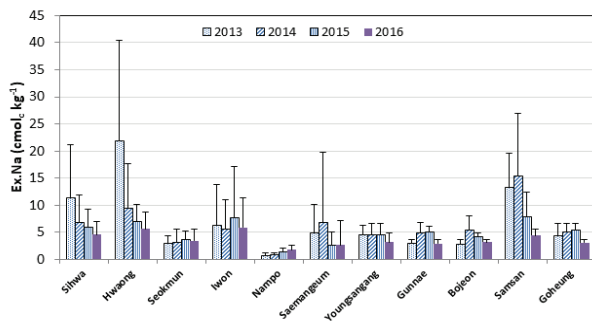


Fig. 11. Changes of Exchangeable Na in the reclaimed tide lands managed by nation.

삼산, 시화, 새만금 간척지에서 2013년 대비 2016년에 각각 74.3%, 66.7%, 59.3%, 45.8% 감소하여 타 지구에 비해 크게 감소하는 결과를 나타내었다. 간척지들 간 평균 치환성 Na 함량은 연차별로 3.7~4.7 cmolc kg<sup>-1</sup>의 범위를 나타내었으며 전체적으로 볼 때, 간척지 11지구의 연도별 평균 치환성 Na 은 조사기간 중 토양 EC와 같은 패턴으로 지속적으로 감소 추세에 있었다.

Mun 등(1996)은 간척 후 10년이 경과한 서산간척지 토양과 간척되지 않은 간척지 토양을 비교 분석하여 치환성 K, Ca, Mg, Na 함량은 간척지에 비해 서산간척지에서 크게 감소하였고 이는 강우에 의한 세탈과 식물에 의한 흡수로 제거된 양이 많았기 때문으로 판단하였다. 국가관리 간척지들은 연차 경과에 따른 제염의 진행으로 적정범위보다 높은 치환성 K, Mg, Na 함량은 지속적으로 감소될 것으로 판단된다. 다만, 치환성 Ca 함량이 적정기준보다 부족한 시화, 화옹, 석문, 이원, 남포, 새만금 간척지는 석고와 같은 토양개량제의 투입을 통해 적정수준으로 관리해 주어야 할 것으로 생각된다.

### Note

The authors declare no conflict of interest.

### Acknowledgement

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development(Project No. PJ01290101)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

### References

Baek, S. H., Lee, S. U., Kim, D. G., Heo, J. W., & Kim, S. J. (2008). Influence of gypsum, popped rice hulls and zeolite on contents of cation in reclaimed tideland soils in Mangyeong. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 27(4), 321-327.

- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2002). *The Nature and properties of soils*, pp. 390-391, 13th ed. Prentice Hall, USA.
- Cho, J. Y., Koo, J. W., & Son, J. G. (2006). Chemical properties in the soils of reclaimed and natural tidelands of southwest coastal area of Korea (II) - Distribution of phosphorus Fractions. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 48(2), 3-9.
- Choi, K. C., Yoon, S. H., Shin, J. S., Kim, D. K., Han, H. S., Supanjani, & Lee, K. D. (2010). Effects of soil amendment application on soil physico-chemical properties and yields of summer forage crops in the sukmoon reclaimed tidal land in korea. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 29(4), 354-361.
- Kim, S. C. (1987). Changes of some chemical constituents in different soil depth with textures of Fluvio-marine soil under assessment of reclamation duration. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 20(1), 23-28.
- Kim, S. J., Baek, S. H., Lee, S. U., Kim, D. G., & Na, Y. J. (2005). Effects of gypsum, popped rice hull and zeolite on soil aggregation in reclaimed tideland. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 38(5), 231-237.
- Koo, J. W., Choi, J. K., & Son, J. G. (1998). Soil properties of reclaimed tidal lands and tidelands of western sea coast in Korea. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 31(2), 120-127.
- Lim, C. H., Kim, S. Y., & Kim, P. J. (2011). Effect of gypsum application on reducing methane (CH<sub>4</sub>) emission in a reclaimed coastal paddy soil. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 30(3), 243-251.
- Mueller, T., Jensen, L. S., Nielsen, N. E., & Magid, J. (1998). Turnover of carbon and nitrogen in a sandy loam soil following incorporation of chopped maize plants, barley straw and blue grass in the field. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(5), 561-571.
- Mun, H. T., Cho, S. R., & Kim, K. H. (1996). Changes of physico-chemical properties in reclaimed area by cultivation. *Korean Journal of Environmental Biology*, 14(2), 149-153.
- NIAS (National institute of Agricultural Science and Technology). (2010). *Methods of soil chemical analysis*, pp. 23-165, NIAS, Korea.
- Seo, D. U., Kim, H. T., Chang, P. W., & Lee, S. H. (2009). Development of prediction method of desalination on a saturated soil in Saemangeum reclaimed area. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 51(2), 29-34.
- Sohn, B. K., Lee, D. J., Park, B. K., & Chae, K. S. (2007). Effects of phospho-gypsum fertilizer as reclamation

- material in the newly reclaimed paddy fields. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 40(2), 145-150.
- Son, J. G., Choi, J. K., & Cho, J. Y. (2009). Chemical properties of soil in the proposed horticultural complexes of Saemangeum reclaimed tideland. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 51(4), 67-73.
- Sonn, Y. K., Hyeon, K. S., Seo, M. C., Jung, K. H., Hyun, B. K., Jung, S. J., & Song, K. C. (2006). A taxonomical consideration based on changes of salinity and profile features of the texturally different two reclaimed tidal soils. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 39(2), 59-64.
- Wagner, G. H., & Wolf, D. C. (1999). Carbon transformations and soil organic matter formation. *Principles and Applications of Soil Microbiology*. (eds. Sylvia, D. M., Fuhrmann, J.J., Hartel, P.G., Zuberer, D.A.), pp. 218-258. Prentice Hall, NJ, USA.
- Yang, C. H., Yoo, C. H., Jung, J. H., Kim, B. S., Park, W. K., Ryu, J. H., Kim, T. K., Kim, J. D., Kim, S. J., & Baek, S. H. (2008). The change of physico-chemical properties of paddy soil in reclaimed tidal land. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 41(2), 94-102.
- Yoo, C. H., Yang, C. H., Kim, T. K., Ryu, J. H., Jung, J. H., Kang, S. W., Kim, J. D., & Jung, K. Y. (2007). Physico-chemical properties of paddy and actual farming conditions in Gyehwa reclaimed tidal land. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 40(2), 109-113.